



TITLE:

材料非線形性によるガイド波の高調波発生挙動に関する研究(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

松田, 直樹

CITATION:

松田, 直樹. 材料非線形性によるガイド波の高調波発生挙動に関する研究. 京都大学, 2015, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2015-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k18945>

RIGHT:

第3章の内容は, Naoki Matsuda, Shiro Biwa, "Phase and group velocity matching for cumulative harmonic generation in Lamb waves," Journal of Applied Physics, Vol. 109, issue 9, 094903, 2011, doi:10.1063/1.3569864 をまとめたものである. 本論文のアブストラクトページへのリンクは以下の通りである
・ <http://scitation.aip.org/content/aip/journal/jap/109/9/10.1063/1.3569864> 本著作物の著作権はAmerican Institute of Physicsに帰属する. 第4章の内容は, Naoki Matsuda, Shiro Biwa, "A Finite-Difference Time-Domain technique for nonlinear elastic media and its application to nonlinear Lamb wave propagation," Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 51, No. 7S, 07GB14, 2012, doi:10.1143/JJAP.51.07GB14 をまとめたものである. 本論文のアブストラクトページへのリンクは以下の通りである. <http://iopscience.iop.org/1347-4065/7JJAP/51/07GB14/> 本著作物の著作権は公益社団法人応用物理学会に帰属する. 第5章の内容は, Naoki Matsuda, Shiro Biwa, "Frequency dependence of second-harmonic generation in Lamb waves," Journal of Nondestructive Evaluation, Vol. 33, issue ...

京都大学	博士（工学）	氏名	松 田 直 樹
論文題目	材料非線形性によるガイド波の高調波発生挙動に関する研究		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、過酷な使用条件下における構造部材の材質変化を非線形超音波伝搬特性に着目して非破壊的に評価するための基礎として、応力－ひずみ関係に微弱な非線形性（材料非線形性）を有する板状部材や部材表面を伝搬する超音波（ガイド波）について、代表的な非線形超音波伝搬特性の一つである高調波発生挙動を理論的ならびに実験的に研究した成果をまとめたもので、7章および付録からなっている。</p> <p>第1章では、研究の背景および目的を述べている。まず、超音波を用いた工業材料や構造部材の非破壊検査法の現状についてまとめ、過酷な条件下で使用される構造部材に生じる損傷や材質変化を評価するうえで狭帯域の大振幅超音波を入射した際に発生する高調波の計測が有効であることを述べるとともに、高調波の発生機構として接触非線形性と材料非線形性を挙げ、それぞれの特徴についてまとめている。また、材料非線形性に起因する高調波発生特性を評価するための計測法について、バルク波を用いる方法とガイド波を用いる方法に分類し、特にガイド波を用いる方法では、分散性と多モード性により高調波発生挙動が極めて複雑になることを指摘したうえで、本研究の目的を述べている。</p> <p>第2章では、材料非線形性を有する構造部材における超音波伝搬挙動を解析するための基礎となる、有限変形を考慮した非線形動弾性理論の基礎方程式についてまとめ、特別な場合として、二次非線形性を有する等方弾性体の平面ひずみ状態における動の変形を支配する基礎方程式、およびそれを微小変形条件のもとで線形化した場合の基礎方程式を示している。さらに、本論文で取り扱うガイド波として、板状部材を伝搬するラム波および部材表面を伝搬するレイリー波についての線形理論をまとめている。</p> <p>第3章では、板状部材を伝搬するラム波について、その分散性のため、基本波から発生する高調波の振幅は伝搬距離に対して必ずしも単調に増加せず、高調波振幅が伝搬距離とともに比例的に増加するためには基本波と高調波の位相速度が一致すること、すなわち位相整合条件の成立が必要であることを踏まえ、位相整合条件を満たすラム波モードと周波数について理論的に解析している。すなわち、レイリー・ラム周波数方程式に支配されるラム波分散関係を系統的に解析し、位相整合条件を満たすラム波モードと周波数をすべて導出するとともに、それらが4種類に分類されることを示している。また、位相整合条件を満たすラム波モードに対して変位場の特徴、ならびに基本波と高調波の間の群速度の一致の有無を明らかにしている。</p> <p>第4章では、材料非線形性を考慮した超音波伝搬解析のための時間領域有限差分法を提案している。応力成分と粒子速度成分を未知変数とする従来の時間領域有限差分法に対して、変位成分も未知変数に含めることにより非線形応力－ひずみ関係を考慮</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	松 田 直 樹
<p>した超音波伝搬解析を可能とし、さらに自由境界の取り扱いについて述べている。つぎに、提案した手法により、縦波平面波に対する二次高調波発生特性を解析し、高調波振幅を精度良く求めることができることを実証している。さらに、提案した手法を線形弾性平板におけるラム波の伝搬解析に適用し、計算波形の時間－空間フーリエ変換により求めたラム波の分散関係が線形理論による結果と良く一致することを示すとともに、材料非線形性を考慮した解析で位相整合条件を満たすラム波モードから発生する二次高調波の振幅が伝搬距離とともに比例的に増加する現象を再現することに成功している。</p> <p>第5章では、モード分解法と摂動法を組み合わせた理論解析、および第4章で提案した時間領域有限差分法による数値解析により、位相整合条件を満たす周波数の近傍におけるラム波の二次高調波発生挙動を詳しく検討している。その結果、発生する高調波の振幅は、周波数に加えて基本波から高調波へのエネルギー伝達効率にも依存することを示し、有限な伝搬距離では位相整合条件を厳密に満たす周波数からずれた周波数において高調波振幅が極大値をとることを明らかにしている。また、位相整合条件を満たす周波数を含む有限な周波数範囲において高調波振幅が伝搬距離に対して単調に増加することを示している。</p> <p>第6章では、アルミニウム合金ブロック表面を伝搬するレイリー波に対して、レーザ・ドップラー振動計を用いた伝搬波形の非接触多点計測により高調波発生挙動を実験的に明らかにしている。すなわち、有限寸法の圧電探触子でアルミニウム合金ブロック表面に励起したレイリー波に対して基本波および二次高調波の二次元振幅分布を評価し、材料非線形性により生じる高調波の振幅分布の特徴を示すとともに、圧電探触子を用いて測定した基本波および高調波の振幅との対応について検討を加えている。これにより、高調波発生挙動が基本波振幅分布の影響を強く受けることを示し、実験結果の定量的理解のためには、複雑な基本波振幅分布を考慮に入れた理論解析が必要となることを指摘している。</p> <p>第7章は結論であり、本研究で得られた成果ならびに今後の課題を述べている。</p> <p>付録では、第4章で提案した時間領域有限差分法における支配方程式の離散化についての詳細な事項と、多数の伝搬モードが重畳した波形から個々の伝搬モードを同定するための時間－空間フーリエ変換の手法についてまとめている。</p>			

氏 名	松 田 直 樹
-----	---------

(論文審査の結果の要旨)

応力－ひずみ関係に微弱な非線形性(材料非線形性)を有する材料に超音波を入射した場合の高調波発生挙動を明らかにすることは、過酷な条件下で使用される構造部材の材質変化を非破壊的に評価するうえで重要な課題である。本論文は、材料非線形性を有する板状部材や部材表面に沿って伝搬する超音波(ガイド波)の高調波発生挙動に関する理論的ならびに実験的研究の成果をまとめたものであり、主な内容は以下のとおりである。

1. 板状部材を伝搬するガイド波(ラム波)について、レイリー・ラム周波数方程式により支配される分散関係の系統的な解析に基づき、高調波振幅が伝搬距離に対して比例的に増加するために必要な位相整合条件を満たすラム波モードと周波数をすべて導出し、それらが4種類に分類されることを示した。

2. 材料非線形性を考慮した超音波伝搬解析のための時間領域有限差分法を提案し、縦波の二次高調波発生特性に関してその精度評価を行うとともに、ラム波伝搬解析に対する有効性を示した。

3. モード分解法と摂動法を組み合わせた理論解析、および提案した時間領域有限差分法による数値解析により、ラム波の二次高調波発生挙動に及ぼす周波数の影響を明らかにした。特に、位相整合条件を厳密に満たす周波数のみならず、その近傍のある周波数範囲において二次高調波振幅が伝搬距離に対して単調に増加することを示した。

4. レーザ・ドップラー振動計を用いた伝搬波形計測により、アルミニウム合金ブロック表面を伝搬するガイド波(レイリー波)に対して二次高調波振幅の二次元分布を評価した。これにより、有限寸法の圧電探触子でレイリー波を励起した場合に材料非線形性により生じる二次高調波の振幅分布の特徴を示した。また、高調波発生挙動が基本波振幅分布の影響を強く受けることを示した。

以上のように本論文は、材料非線形性を有する板状部材や部材表面に沿って伝搬するガイド波の高調波発生挙動の特徴を理論的ならびに実験的に明らかにしており、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成27年1月27日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降